

フルデプス－アスファルト舗装について

阿部頼政

1. はじめに

わが国のアスファルト舗装は一般に粒状材料よりなる路盤と、アスファルト混合物による表層・基層で構成されている。長い間このような構造に慣れてきたため、いつのまにか粒状材料をぬきにしてはアスファルト舗装は考えられないような習慣が身につけてしまっている傾向がある。すなわち、舗装の表面や路床からの水を流すため、また路床の変形を吸収するクッションとなるために粒状材料はどうしてもなくてはならないと信じられてきたからである。しかし、路床から上をすべてアスファルト混合物で舗装するフルデプスの出現とアメリカ・ドイツ等における数々の成功例は、粒状材料に対するこれらの習慣的な考え方が全くおかしいことを実証した。本稿は、このフルデプスの概要を考察するとともに、A I の設計法¹⁾（日本語訳：日本アスファルト協会²⁾を紹介しようとするものである。

2. フルデプスとは何か

アスファルト舗装の構造は、一般に表層、基層と一層以上の路盤からできており、路盤は路床に支えられている。図-1(a)に示されるように、輪荷重 W はタイヤを通じて舗装面へ伝達され、ほぼ等分布円荷重 P_0 として路

面に働らく、そして舗装体は荷重応力を下方に伝達すると同時に、路床土の表面で最小荷重強度 P_1 になるまで荷重強度を減少させる。図-1(b)は P_0 が深さとともに P_1 になる様子を示したものであり、舗装材料の選択・適切な厚さの配分を正しく行ない構造物に十分な強度を持たせることにより、 P_1 を路床土が容易に支持できる程度に小さくする。

以上がアスファルト舗装の基本原理である。フルデプスやディープストレングスにしてもこの基本的な考え方からはみでるものではない。上述の舗装材料の選択・適切な厚さの配分において従来のものと異なっているだけなのである。ただ、フルデプスに類した種々の言葉があいまいに使われており、多少の混乱を招いている傾向があるので、まずA. I. の文献をもとにここで用語の定義を確認しておくことにする。

① 一般のアスファルト舗装

(Conventional Asphalt Pavement)

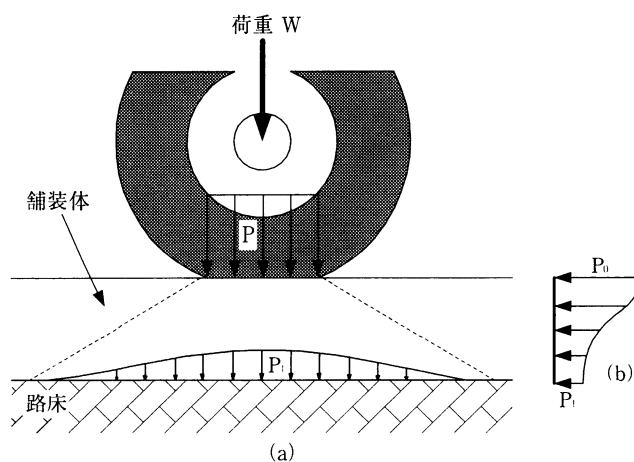
「粒状材料よりなる下層路盤と上層路盤を持ち、その上に比較的うすいアスファルト混合物層をもった舗装」³⁾。これはわが国のアスファルト舗装要綱における定義⁴⁾（骨材を歴青材料で結合してつくった表層をもつ舗装をいい、一般に表層・基層および路盤からなる）と本質的に変わったところはない。A. I. の「粒状材料よりなる」という言葉の中には安定処理層等も含まれていると考えられる。

② ディープストレングス・アスファルト舗装

(Deep-Strength Asphalt Pavement)

「舗装上部に厚さ6インチ（約15cm）以上のよく締め固められた、良質の密粒度加熱アスファルト混合物層を持つ舗装」。これは、通常のアスファルト舗装とフルデプスのいわば中間にあたる舗装である。この定義では、良質の密粒度アスコンに限定しているが、実際にはこれにとらわれず、アスファルト混合物層の厚さが6インチ以上あればディープストレングスと称しているようであ

図-1 舗装に関する輪荷重の分布



る⁵⁾。したがって、これはアスファルト混合物層の厚さのみに意味があると解釈してよからう。わが国のD交通に対する舗装はそのほとんどがこれに相当する。

③ フルデプス・アスファルト舗装 (Full-Depth Asphalt Pavement)

「路床あるいは改良路床の上のすべての層にアスファルト混合物を用いた舗装」。これが本稿の目的とするフルデプスの定義である。わが国では現在舗装厚の設計を合計厚HとT_Aで行なっているが、このT_Aは、舗装をすべて加熱アスファルト混合物で行なう場合に必要の厚さの意味であるから、根本には、フルデプスの考え方が入っているわけである。

①②③の舗装構造の例を図-2に示した。当然のことながら、舗装の合計厚は、一般の舗装>ディープストレングス>フルデプスの順に薄くなる。

④ ディープリフト舗装技術 (Deep-Lift Paving Technique)

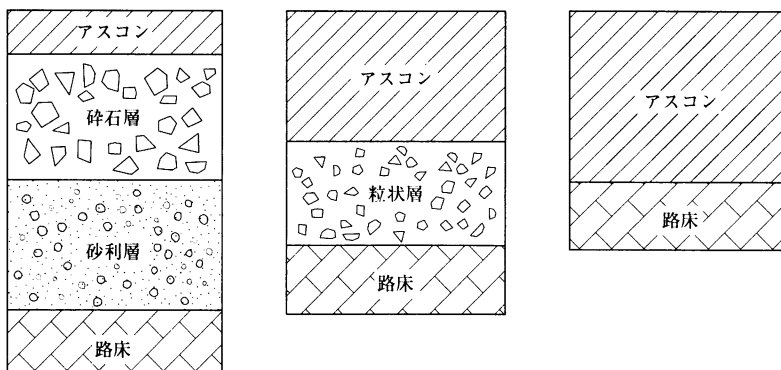
「アスファルトベースの施工時に、1回のしきならし転圧厚さを通常の場合より厚く、仕上り厚で、4インチ(約10cm)以上で行なう舗装技術」⁶⁾。これは①②③と異なり、施工法のことである。ベースの施工時とことわってあるが、これは表層まで含めると仕上がった路面の平坦性に問題がでてくることもあるためと思われる。

⑤ シックリフト舗装技術 (Thick-Lift Paving Technique)

これはわが国では「シックリフト工法」としてなじみの深い言葉であるが、定義はディープリフトと同じである⁷⁾。

以上、フルデプスに関連して混同しやすい言葉の定義を述べたが、要約すると、ディープストレングス、フルデプスは舗装構造の種類を示したものであり、ディープリフトおよびシックリフトは、一層あたりの厚さを厚くして施工する工法を意味するということになる。したがって、一般にはフルデプスの施工はシックリフトで行なわれるケースが多いが、通常のアスファルト舗装のように10cm以下の層を何層かに分けて施工する場合でも、路床より上がすべてアスファルト混合物であれば、フルデプスになるわけである。

図-2 舗装断面の比較
(a) 通常のアスファルト舗装 (b) ディープストレングス (c) フルデプス



なお、“Deep-Strength”, “Full-Depth”, “Deep-Lift”の語はA. I.によって米国特許庁に登録されている。^{6) 8)}

3. フルデプスの背景と歴史

路床より上をすべてアスファルト混合物で舗装するというフルデプスの考え方はきわめて素朴な発想である。したがって今日のように脚光を浴びる前から施工の例はかなりあった⁹⁾。アメリカにおいては¹⁰⁾、1930年代の半ばまで、シックリフト工法によるフルデプスがさかんに施工され、その供用性は非常に良好であった。しかし、施工機械や技術の発達と共に、未処理の粒状材等を利用する舗装がさかんになり、1940年代から1950年代にかけてアスファルト混合物層の厚さは次第に薄くなっていった。そして、ついにはアスファルト混合物は表層に使用されるだけになってしまった(現在のわが国の舗装要綱もかなりこの色彩が強い)。その後、交通量の増大、良質の粒状材料の不足等から、舗装構造をもう一度考えなおす必要にせまられ、フルデプスが新たにとりあげられるようになったわけである。この最初のきっかけは、フルデプスの生みの親とも言われているCharles Beagleの施工例^{11) 12)}であった。彼は当時(1962年)アメリカのウッドブリッジ市公共事務局長であったが、多額の予算(100万ドル/年)を割り当てられ、工事をスピードアップする必要にせまられていた。また、この市の周辺の路床土は主に粘土で160年以上も商業用粘土の産地であったというから、路床条件は非常に悪かったと言えよう。彼はここで、シックリフト工法によるフルデプスを採用したのである。その結果は非常に良好であった。すなわち、アスファルト路盤は、湿った下層の粘土を押し込み、工事が非常にスピードアップできた上に、労力や費用の面でも経済的であり、供用性もよかったからであ

る。さらにシックリフト工法の利点として、路床土を乱さずに施工できること、および締め固め度が非常に良い(99%)ことを実証した。そしてこれまで、アスファルト混合物の一層敷きならし厚は10cmが限度で、それ以上の厚さになると締め固めがよくできないという漠然とした常識(?)を打破し、一層18インチ(約45cm)でも施工可能なことを示した。このように厚くとも締め固め度が得られる理由は、厚ければ厚いほど温度が保持されやすく、転圧中の温度降下が小さいためである。このBeagleの報告をもとに各地でフルデプスの試験舗装が行なわれるようになった。まずワシントン州道路局では、厚さ・しきならし方法・締め固め機械と方法をいろいろに組合せて実験し、シックリフト工法については、平坦性をそこなうことなく締め固め度をあげられることを確認した。また、カリフォルニアやその他の州では、市街地道路の改築や拡幅にフルデプスを適用して、工期の短縮・掘削深さの低減・利用者へのサービス等を考えれば、都市内ではフルデプスが理想的であることを示した。その他、各地で試験施工が行なわれたが、その結果はいずれも、従来の舗装にくらべてフルデプスが有利であることを実証している。A. I. では、これらの試験舗装の実績、各研究機関における室内試験、さらにAASHOやWASHOの道路試験結果をもとに、フルデプスの設計法をまとめあげた。これが最初に述べた“Thickness Design”¹⁾である。

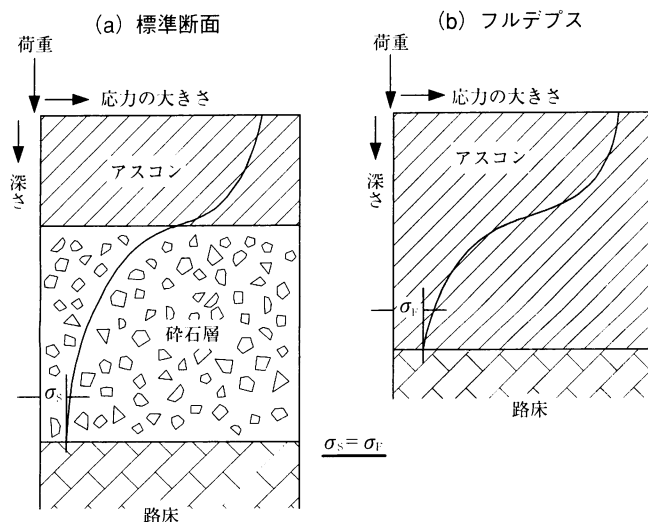
これよりさき、ドイツでは^{13) 14)}、Beagleの成功に注目して、これを参考にしながら独自にフルデプスの研究を進めていた。ドイツの標準設計では凍上防止のため、か

りの量にのぼる砕石が必要になるが、コストや輸送距離の問題から、砕石の入手がますますむずかしくなったため、それをあまり必要としないフルデプスに着目したわけである。1970年 Beagleが訪独し、また同年秋にドイツ側がウッドブリッジの現場を見学したりして、フルデプスに対する関心は高まっていった。しかし、ドイツの標準設計による厚さと等価なフルデプスの厚さが不明のため、政府や一般の技術者はフルデプスの有利さにあまり関心を示さなかった。そこでミュンヘン工科大学とモービルオイルが共同研究を始め、ドイツの交通・気象・土質等を考慮しながら舗装厚、寿命等の検討をした。その成果は第3回アスファルト舗装構造設計会議に提出された¹⁴⁾わけであるが、その後も、種々の機関で研究は続けられ、現在30カ所以上の試験舗装区間があるという。

A. I. の設計法では、舗装厚の設計に使用する図表の根拠が不明(現在A Iに照会中)であるが、ドイツではその考え方がはっきりしている。すなわち図-3において路床面での垂直応力が標準設計の場合と等しくなるようにフルデプスの舗装厚を決定するのである。この場合応力計算には弾性理論を適用している。この他にも弾性理論を利用して舗装厚を決定しようとする試みは、いろいろあり^{15) 16)}、ポアソン比やヤング率のとり方等に問題は多いが、今後の研究方向の一つであろう。

ドイツの他にも、フルデプスはカナダ・オーストラリア・フランスその他各国で試験的に始められており、まだ確立されたものではないが、おおむね好評を得ているようである。

図-3 垂直応力の分布状態



4. フルデプスの設計法

フルデプスについて最もまとまった形の設計法は、言うまでもなくA. I. の“Thickness Design”である。A. I. は1937年に「道路技術者用アスファルト・ポケットブック」に舗装設計法を公表して以来、改正を重ね、今回の設計法が第8版にあたる。本節ではA. I. の設計法を紹介し、あわせてわが国のアスファルト舗装要綱との相違を検討することにしよう。A. I. の設計法では本文が6章からなり、付録としてA～Gまで詳しい説明が載っているが、このうち、最も重要な項目は、路床の評価・交通量のとり方・厚さの設計方法であろう。以下、この順序に従って述べることにする。

[1] 路床の評価

設計路床強度値は、試験による路床土強度値に基づいて決定される。設計路床強度値は、ある区間のすべての

試験値の90%以上の値を持つ路床土強度値と定義され、次の方法により決定される。

1. 数字の大きさの順で、すべての試験結果を配列する。
2. 各々の試験結果について、その試験値と同等あるいはそれ以上の値をもつ個数の試験値の総個数に対するパーセントを計算する。
3. 方眼紙に結果をプロットする。
横座標 路床支持力強度値 (CBR)
縦座標 同等以上の支持力強度値の総個数に対するパーセントプロットされた点を通るなめらかな最適曲線を描く。
4. 曲線より90%の路床土支持力強度値を読む。これが設計路床支持力強度値である。

以上の評価法とわが国の設計CBRの根本的相違は、A. I. は現場試験であり、設計CBRは室内試験であるという点にある。両者の値については、実験資料がないので比較できないが、今後検討すべき問題の一つであろう。なお、A. I. では路床支持力強度値としてCBRの他に、R値、平板載荷値の3種を採用している。また、ランダムサンプリング法によるサンプル採取箇所の選択手順についても詳しく説明してある。

表-1 アメリカにおけるトラックパーセントとトラック平均総重量

道路および市街地道の種類	重トラック*パーセント	トラック平均総重量* (1,000ポンド)
市街地道 (地方都市)	9以下	15~25
主要道路	5**~15	20~30
州間道路	5~10	35~45
地方道	15以下	15~25
主要道路	5~20	30~40
州間道路	10~15	35~45

* 合衆国における平均である。他の国や合衆国の地方地域では土地利用や産業の形態により特別な配慮が必要な場合もある。

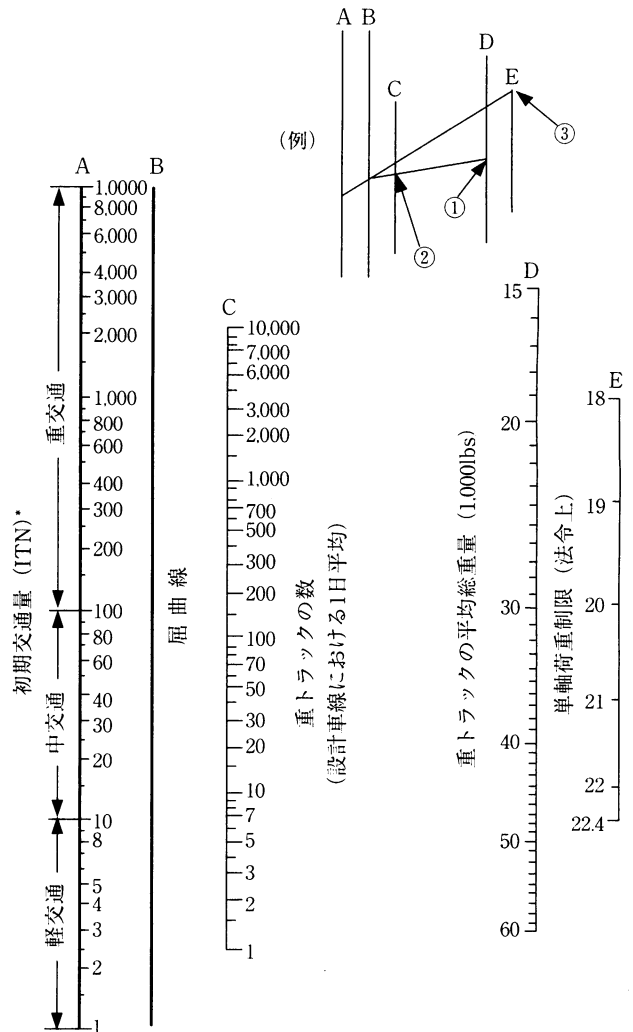
** 場合によってはこれ以下のこともある。

表-2 設計車線における総トラック交通パーセント数

交通車線の数 (2方向)	設計車線のトラックパーセント数
2	50
4	45 (35~48) *
6	40 (25~48) *

* おおよその範囲

図-4 ITNの決定法



[2] 交通量のとり方

交通量解析については、わが国のA, B, C, Dと4種にわけける方法に比べ、はるかに詳しいとり方をしている。以下簡単にその手順を述べる。

1. 完成した道路が交通に開放され、最初の1年間に通る日平均車両台数を予想する。これは初期日交通量 (IDT) と呼ばれる。
2. 交通量測定および交通分類の資料から交通の流れの中の重トラックの百分率 (A) を予想する。その種のデータが不足する場合は、表-1を用い予想する。
3. 設計車線におけるトラックパーセント (B) を決定する。これは表-2を使って予想する。通常トラックは最も外側の車線を通行するが、両方向に均等に分配されるように考えてもよい。しかし鉾山地域では、トラックによる重量物の運搬は1方向のみで帰りの車線では空トラックの交通となるような例外

もある。多車線道路では、重量物運搬車の80%以上が外側車線を通行する。
 4. 次の手順により設計車線に予測される重トラックの平均日交通量を予想する。

$$\text{重トラック数} = I D T \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100}$$

ここに I D T, A, B, は前述の 1, 2, 3 で説明されている。

5. 交通量調査資料から重トラックの平均総重量を予想する。その資料がない場合は、表-1を参考にするといよい。
6. 州および地方自治体の法令により設定される法的単軸重限界を決定する。
7. 以上で得られた値に基づき交通解析図を使用してつぎの手順で初期交通数を設定する。
 - (a) 図-4のD線上に平均総重量(上記(5))を記入する。
 - (b) C線上に設計車線上の日平均重トラック交通量の位置を定める。

図-5 舗装厚の決定法

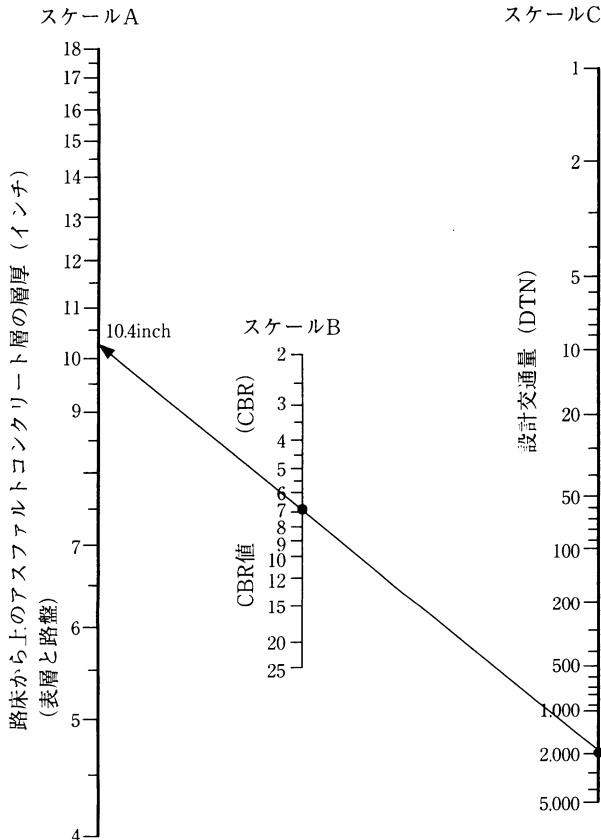


表-3 ITNの調整係数

設計年数 (年) n	年当り交通伸び率 (%) r					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

係数 = $\frac{(1+r)^n - 1}{20}$

- (c) D, C線上の点を直線で結び、B線まで延長してその交点を旋回点とする。
 - (d) E線上に単軸重限界点の位置を定める。
 - (e) E線上の単軸重限界点とB線上の旋回点を直線で結びA線まで延長する。
 - (f) E-B線から延長された直線がA線と交差する点を読む。これが初期交通数 (ITN) である。
8. 設計供用年数を設定する。新規の建設ではこの設計供用年数は普通20年である。
 9. 年間交通伸び率を予測する。現在合衆国における交通伸び率は平均年当り3~5%である。
 10. 予定設計年数と年当りの交通伸び率により、表-3からITN調整係数を求める。
 11. ITNに調整係数をかけると、次の厚み設計図に使用されているDTN₂₀を得る。
- 以上の過程の中で、1~7の初期交通数 (ITN) を求める操作は、最初の一年間に設計車線に予想される交通荷重を18,000ポンド単軸荷重に換算するという考え方が基準になっている。

[3] 舗装厚の決定法

アスファルト舗装の総厚を決定するのに、路床強度が

CBRであらわされている場合は図-5を使用する。その使用法を例題によって説明する。

設定条件

路床土のCBR値 = 7
設計交通数(DTN) = 2,100

1. まずスケールBにCBR値7をとる。
2. スケールCにDTN値2,100をとる。
3. スケールB上の点とスケールC上の点を結ぶ直線を描き、スケールAまで延長する。
4. スケールA上に10.4インチの値が読み取られる。これを0.5インチ単位に切り上げ、10.5インチを得る。

こうして設定条件のCBR値とDTN値に対し、アスファルト舗装総厚 T_A 、として10.5インチが得られる。

以上の方法によって決定された総厚は、A. I. のタイプ4(わが国の密粒度アスコンに似た混合物)に属する高品質加熱アスファルト混合物を使用する場合のものである。タイプ4以外のアスファルト混合物を用いた他種類の路盤をもつ舗装厚設計法は、付録に試案の形で述べられている。また最小厚みを次のように規定している。

設計交通量	最小総厚 T_A (インチ)
10以下	4
10~100	5
100~1,000	6
1,000以上	7

[4] アスファルト舗装要綱との比較

以上、A. I. の設計法の概略を述べたが、わが国のアスファルト舗装要綱における設計法とはかなりの相違点がみられる。表-4にこれらをまとめて比較した。この中でも特に問題となるのは、舗装厚がどのように異なるかということであろう。路床土の評価法、交通量のとり方がそもそも両者でちがうため、厳密な量的比較は不可能であるが、CBRによる舗装厚 T_A の変化の様子を図-6に示した。舗装要綱からはA, B, C, Dの交通区分に従った T_A をとり(実線)、A. I. からはDTNが10, 100, 1,000, 5,000の場合をとって図-5より計算した値(点線)で示してある。これで見ると、設計交通数(DTN)が1,000の場合は、わが国のC交通にほぼ相当すると考えられる。また全体として、舗装要綱に比べA. I. によるものは直線の傾きが大きい。これは、路床強度の小さいものに対してA. I. ではわが国よりも舗装厚

表-4 設計法の比較
舗装要綱

A I (MS-1)

路	強度試験	CBR	CBR, スタビロメーター 平板載荷
床	設計への利用	設計CBR	現場CBR, R値 平板載荷値 (ランダムサンプリングによる)
	換算基準	5 t 輪荷重	ITN (18,000ポンド単 軸荷重)
交通 解析	伸び率	5年後	1年後~20年後
	交通重の区分	A, B, C, D	DTN
	設計基準	T_A および合計厚H	設計年数に応じた T_A
厚さの 決定	計算方法	数式および表	ノモグラフ
	最小厚さ	交通量により区分	DTNにより区分

を厚く(または路床強度の大きいものに対してわが国よりも薄く)する傾向があることを示しているものである。

5. フルデプスの利点

前節までに述べてきたように、これまで試験舗装が各地で行なわれ、フルデプスの有利な点がかかなり明らかになってきた。本節ではこれらの点を箇条書きで整理してみる。

- (1) 舗装厚を薄くすることができる。したがって、市街地道路の地下埋設物への影響が少ない。
- (2) 舗装体の均一性を保持することができる。
- (3) 良質な粒状骨材の使用量を少なくすることができる。これは、粒状材の入手がますます困難になっている現在、大きな長所となる。
- (4) 低品質の材料を使用可能にする。
- (5) 水の浸入により影響を受ける層(粒状路盤等)をもたない。したがって、排水・凍上等の点で有利である。
- (6) 路床強度の減少がほとんどない。場合によっては強度の増加が期待できる。これまでの例によると、フルデプス舗装下の路床土は粒状路盤をもつ舗装にみられるような含水比の上昇がない。
- (7) ステージ・コンストラクション(段階施工)が可能である。
- (8) 降雨時に施工中の路床を保護し、悪天候での工期の遅延をなくする。
- (9) シックリフト工法を採用することにより、締固め度の増加・工期の短縮・工費の節減等が可能になる。

以上がこれまで一般に言われてきたフルデプスの主な利点である。このうち特に粒状材料の節約・低品質材料の使用可能性・工期の短縮・工費の節減は、わが国にとっても非常に重要な意味をもつと思われる。

6. フルデプスの問題点

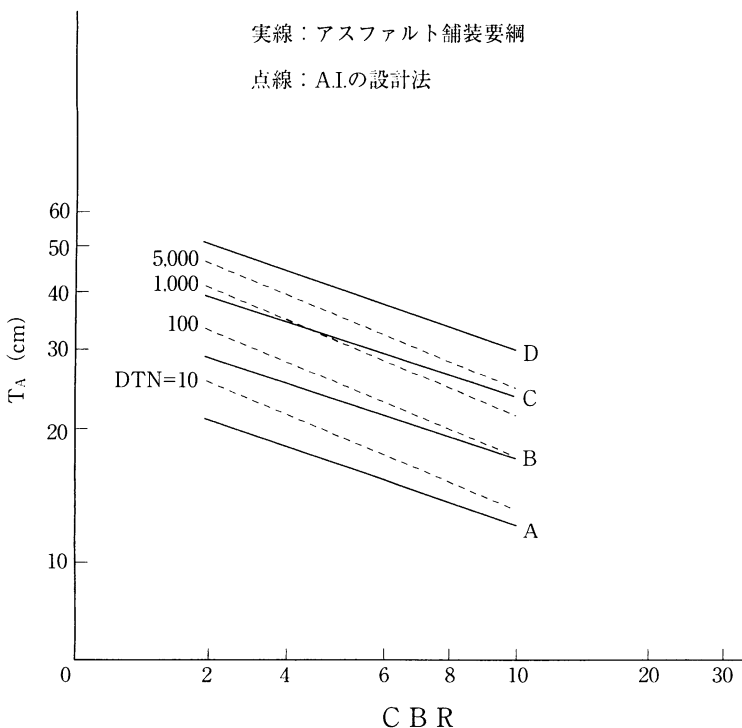
A. I. の設計法は非常に参考となるが、わが国でこれをそのまま採用するわけにはいかない。何故なら設計の基準となる交通量のデータがアメリカのように整理されていないため、A. I. の厚み設計図（ノモグラフ）が使用できないし、わが国では、降雨量が多い上に軟弱地盤が全国的に分布しているという特殊事情があるからである。

したがって、フルデプスの利点は十分認めるにしても実際に施工する場合には種々の問題がおきてくる。以下考えられる問題点を列挙する。

1 路床について

- ① 路床土の評価法がA. I. と異っている。
- ② 凍上の対策をどうするか。A. I. にも明確な規定はない。
- ③ 軟弱地盤（CBR < 2）上の舗装厚はどのように設計するか。

図-6 舗装厚の比較



- ④ 排水はフルデプスの場合、どの程度簡略化できるか。

2 交通量の解析について

- ① 設計年数をA. I. は20年、わが国では10年にとってある。両者の調整はどうか。
- ② 交通量のとり方は、フルデプスの場合も舗装要綱に準じてよいのか、再検討する必要はないか。
- ③ 交通量の伸び率は予測できないか。
- ④ 交通荷重の基準として舗装要綱では5トン輪荷重をとっているがA. I. の18Kip（約8.0トン）軸重との相違はどうか。

3 舗装厚の設計について

- ① 舗装要綱の合計厚Hは意味がなくなる。TAだけで設計してよいのか。
- ② 路盤より上の部分は版としての効果をもつと考えられる。版としての強度はどのようにとり入れるか。
- ③ 上から下まで、同じ材料で舗装するということは、コスト等の問題もあり現実的に不可能であろう。この場合の厚み設計をどうするか。
- ④ ディープストレングスとの選択基準をどうするか。

4 材料について

- ① 現地材料をアスファルト安定処理する場合、その基準をどうするか。
- ② アスファルトの品質は従来のものでよいか。
- ③ Top Sizeを大きくできるか。
- ④ Hot Storageを考える必要があるのではないか。

5 施工について

- ① 敷きならしをどうするか。
- ② 転圧にはどのようなローラーを使用するのが最も効果的か。
- ③ 軟弱地盤上のworking tableはどうか。

以上にあげた問題点の解決が今後の研究課題になる。この中には、フルデプスの設計に限らず、現在のアスファルト舗装要綱における重要な問題も含まれており、最終的には舗装要綱を再検討することになると思われる。

7. おわりに

以上は、フルデプス分科会で調査・検討したことをまとめたものである。分科会はまた研究に着手したばかりであり、本稿はその中間報告にすぎない。なおフルデプス舗装自体が世界的に研究途上にあり、分科会での意見が一致していない点もあって、筆者の私見でまとめた部分もあることをおことわりしておく。

参考文献 (*印は本号に詳しく紹介されているもの)

- 1) "Thickness Design-Full-Depth Asphalt pavement Structures for Highways and Streets" Manual Series No.1 (MS-1), August 1970 The Asphalt Institute
- 2) 「フルデプス舗装の厚み設計」(48年4月)日本アスファルト協会
- 3) The Asphalt Institute R S-15
- 4) 「アスファルト舗装要綱」日本道路協会
- 5) "Asphalt" April, 1966, The Asphalt Institute
- 6) The Asphalt Institute MS-4 (1965)
- 7) The Asphalt Institute I S-146
- 8) "Newsletter" 9, (1) Feb, 1969 The Asphalt Institute
- 9) W. L. Hindermann "The Swing to Full-Depth" The Asphalt Institute I S-146
日本語訳：「フルデプス舗装への動き」
- 「アスファルト」No.67 (44年4月)日本アスファルト協会
- 10) *Vaughn Marker "Full-Depth Asphalt Concrete Pavement Construction" The Sixth Annual Nevada Street and Highway Conference, April, 1971
- 11) The Asphalt Institute I S-143
- 12) The Asphalt Institute I S-153
- 13) *W. J. Kawohl "Full-Depth Asphalt Pavement Developments in Germany-Design and Construction" AAPT 12-14, 1973
- 14) *G. Leykauf and W. J. Kawohl "Structural Design of Full-Depth Asphalt Pavements and Field Tests in Comparison with German Standardized Asphalt Pavements"
3rd International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements.
Session VI P.29~P.40
- 15) *M. W. Witczak "Design of Full-Depth Asphalt Airfield Pavements"
同上 Session III P.550~P.567
- 16) *R.N. Varlan "Theoretical and Practical Advantages of Single-Pass Construction of Thick Bituminous Road Courses"
同上 Session VI P.1093~P.1101
〔筆者：日本大学工学部土木科 講師〕